

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 103 31 686.8
Anmeldetag: 14. Juli 2003
Anmelder/Inhaber: Leica Microsystems Semiconductor GmbH,
35578 Wetzlar/DE
Bezeichnung: Verfahren zur Bewertung von aufgenommenen
Bildern von Wafern
IPC: H 01 L, G 06 K

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 25. März 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Ebert

Verfahren zur Bewertung von aufgenommenen Bildern von Wafern

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bewertung von aufgenommenen Bildern von Wafern.

5 In der Halbleiterfertigung werden Wafer während des Fertigungsprozesses in einer Vielzahl von Prozessschritten sequentiell bearbeitet. Mit zunehmender Integrationsdichte steigen die Anforderungen an die Qualität der auf den Wafern ausgebildeten Strukturen. Um die Qualität der ausgebildeten Strukturen überprüfen und eventuelle Defekte finden zu können, ist das Erfordernis an die Qualität, die Genauigkeit und die Reproduzierbarkeit der
10 den Wafer handhabenden Bauteile und Prozessschritte entsprechend. Dies bedeutet, dass bei der Produktion eines Wafer mit der Vielzahl von Prozessschritten und der Vielzahl der aufzutragenden Schichten an Photolack oder Ähnlichem eine zuverlässige und frühzeitige Erkennung von Defekten besonders wichtig ist. Bei der optischen Erkennung von Fehlern gilt es dabei
15 die systematischen Fehler durch die Dickenschwankungen bei der Belackung der Halbleiterwafer zu berücksichtigen, um somit einer Markierung von Stellen auf dem Halbleiterwafer zu vermeiden, die keinen Fehler beinhalten.

Makroskopische Bilder von Halbleiterwafern zeigen, dass die Homogenität der Schichten oder Layer sich radial ändert. Insbesondere bei der Belackung
20 treten in den vom Mittelpunkt des Wafers entfernten Bereichen veränderte Homogenitäten auf. Wird wie bisher eine einheitliche Empfindlichkeit über den gesamten Radius des Wafers für die Bewertung von Bildern der aufgenommenen Wafer verwendet, so kommt es vor, dass die Abweichungen am Rand immer, jedoch Defekte im Inneren (nahe am Mittelpunkt des Wafers)
25 nicht detektiert werden. Wird eine hohe Empfindlichkeit gewählt, um Defekte

in homogenen Gebieten sicher zu detektieren, so treten in den Randbereichen verstärkte Fehldetektionen auf, da die inhomogenen Randbereiche nicht immer als Fehler zu bewerten sind. Um dies zu verhindern, kann man die Randbereiche komplett ausklammern. Jedoch werden dann dort keine echten
5 Fehler gefunden. Wählt man dagegen eine geringere Empfindlichkeit so kommt es zwar zu keinen Fehldetektionen mehr, jedoch können Fehler in den homogenen Gebieten nicht gefunden werden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde ein Verfahren zu schaffen, mit dem unter Berücksichtigung der Inhomogenitäten auf der Oberfläche eines Wafers
10 eine eindeutige Detektion von Fehlern möglich ist.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Es ist von besonderem Vorteil, wenn zuerst ein Bild mindestens eines Referenzwafers aufgenommen wird. An Hand der Aufnahme erfolgt ein
15 Ermitteln und Darstellen der radialen Verteilung der Messwerte des Referenzwafers als eine radiale Homogenitätsfunktion auf einem Userinterface. Ein radial abhängiges Empfindlichkeitsprofil wird unter Berücksichtigung der radialen Homogenitätsfunktion des Referenzwafers verändert, wobei mindestens ein Parameter des Empfindlichkeitsprofils variiert
20 wird, wodurch ein erlerntes Empfindlichkeitsprofil visuell aus dem Vergleich mit der radialen Homogenitätsfunktion bestimmt wird. Ermittelt werden Fehler auf mindestens einem weiteren Wafer an Hand des Vergleichs des erlernten radialen Empfindlichkeitsprofils des Referenzwafers und der gemessenen radialen Verteilung der Homogenitätsfunktion des mindestens einen weiteren
25 Wafers. Der Fehler auf dem Wafer ist durch das Unterschreiten des erlernten Empfindlichkeitsprofils durch die gemessene radiale Verteilung der Homogenitätsfunktion bestimmt. Der gefundene Fehler wird auf einer bildlichen Darstellung des mindestens einen weiteren Wafers markiert.

Das erlernte Empfindlichkeitsprofil ist vom Abstand zu einem Mittelpunkt des
30 Wafers abhängig. Diese Abhängigkeit resultiert aus der Abhängigkeit, die sich

aus den Produktionsprozessen der Wafer selbst ergibt. Auf den Wafer werden für nachfolgende lithographische Prozesse Schichten mit einem Spinverfahren aufgetragen. Alleine hieraus resultieren Dickenschwankungen der Schicht oder der Schichten, die bei der Detektion von Fehlern zu berücksichtigen ist.

- 5 Es sind mehrere verschiedene Profilformen auf dem Userinterface vorhanden, die zum Bestimmen des erlernten Empfindlichkeitsprofil vom Benutzer ausgewählt werden können.

- 10 Besonders geeignet haben sich drei verschiedene Profilformen erwiesen, die zum Bestimmen des erlernten Empfindlichkeitsprofil vom Benutzer ausgewählt werden können. Dabei ist eine erste Profilform unabhängig von der radialen Position auf dem Wafer. Eine zweite Profilform besteht aus einem ersten und einen zweiten Abschnitt, von denen mindestens einer in der Steigung verändert werden kann. Eine dritte Profilform ist vorgesehen, die einen ersten, einen zweiten und einen dritten Abschnitt aufweist, wobei jeder Abschnitt
15 unabhängig im Niveau verändert werden kann.

- Mindestens ein Parameter ist veränderbar, um das Empfindlichkeitsprofil an radiale Homogenitätsfunktion eines Wafers anzugleichen. Dabei steht mindestens ein Parameter für die radiale Position eines Übergangs zwischen zwei Abschnitten des Empfindlichkeitsprofils, die sich in der Steigung
20 unterscheiden. Ein weiterer Parameter definiert das Niveau des Empfindlichkeitsprofils, wobei mindestens drei Niveaus des Empfindlichkeitsprofils einstellbar sind. Das Niveau des Empfindlichkeitsprofils ist dabei auf das Niveau der radialen Homogenitätsfunktion bezogen. Die Einstellung des Niveaus bzw. der Abschnitte mit den unterschiedlichen
25 Steigungen kann durch jeweils einen Slider verändert werden.

In der Zeichnung ist der Erfindungsgegenstand schematisch dargestellt und wird anhand der Figuren nachfolgend beschrieben. Dabei zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Systems zur Detektion von Fehlern auf Wafern;

Fig. 2a eine Darstellung der Art der Aufnahme der Bilder oder Bilddaten eines Wafers;

Fig. 2b eine schematische Draufsicht auf einen Wafer;

5 Fig. 3 eine Ausführungsform eines Userinterfaces für die Parametereingabe zum Festlegen eines Empfindlichkeitsprofils für die Farbschwankungen auf der Oberfläche eines Wafers; und

Fig. 4 eine Ausführungsform eines Userinterfaces für die Parametereingabe zum Festlegen eines Empfindlichkeitsprofils für die radiale Abweichung der Daten von einem Histogramm.

10 Fig. 1 zeigt ein System 1 zur Detektion von Fehlern auf Wafern. Das System 1 besteht z.B. aus mindestens einem Kassettenelement 3 für die Halbleitersubstrate bzw. Wafer. In einer Messeinheit 5 werden Bilder bzw. Bilddaten von den einzelnen Wafern aufgenommen. Zwischen dem
15 Kassettenelement 3 für die Halbleitersubstrate bzw. Wafer und der Messeinheit 5 ist ein Transportmechanismus 9 vorgesehen. Das System 1 ist von einem Gehäuse 11 umschlossen ist, wobei das Gehäuse 11 eine Grundfläche 12 definiert. Im System 1 ist ferner ein Computer 15 integriert, der die Bilder bzw. Bilddaten von den einzelnen gemessenen Wafern aufnimmt und verarbeitet. Das System 1 ist mit einem Display 13 und einer
20 Tastatur 14 versehen. Mittels der Tastatur 14 kann der Benutzer Daten eingeben zur Steuerung des Systems oder auch Parametereingaben zur Auswertung des Bilddaten von den einzelnen Wafern machen. Auf dem Display 13 werden dem Benutzer des Systems mehrere Benutzerinterfaces dargestellt.

25 Fig. 2a zeigt eine schematische Ansicht der Art und Weise, wie von einem Wafer 16 die Bilder und/oder Bilddaten erfasst werden. Der Wafer 16 ist auf einer Tisch 20 aufgelegt, der im Gehäuse 11 in einer ersten Richtung X und einer zweiten Richtung Y verfahrbar ist. Die erste und die zweite Richtung X, Y sind senkrecht zueinander angeordnet. Über der Oberfläche 17 des Wafers
30 16 ist eine Bildaufnahmeeinrichtung 22 vorgesehen, wobei das Bildfeld der

Bildaufnahmeeinrichtung 22 kleiner ist als die gesamte Oberfläche 17 des
Wafers 16. Um die gesamte Oberfläche 17 des Wafers 16 mit der
Bildaufnahmeeinrichtung 22 zu erfassen, wird der Wafer 16 meanderförmig
abgescannt. Die einzelnen nacheinander erfassten Bildfelder werden zu
5 einem gesamten Bild der Oberfläche 17 eines Wafers 16 zusammengesetzt.
Die geschieht ebenfalls mit dem in Gehäuse 11 vorgesehenen Computer 15.
Um eine Relativbewegung zwischen dem Tisch 20 und der
Bildaufnahmeeinrichtung 22 zu erzeugen, wird in diesem Ausführungsbeispiel
ein x-y-Scanningtisch verwendet, der in den Koordinatenrichtungen x und y
10 verfahrenen werden kann. Die Kamera 23 ist hierbei gegenüber dem Tisch 20
fest installiert. Selbstverständlich kann auch umgekehrt der Tisch 2 fest
installiert sein und die Bildaufnahmeeinrichtung 22 für die Bildaufnahmen über
den Wafer 16 bewegt werden. Auch eine Kombination der Bewegung der
Kamera 23 in eine Richtung und des Tisches 20 in der dazu senkrechten
15 Richtung ist möglich.

Der Wafer 16 wird mit einer Beleuchtungseinrichtung 23 beleuchtet, die
zumindest Bereiche auf dem Wafer 16 beleuchtet, die dem Bildfeld der
Bildaufnahmeeinrichtung 22 entsprechen. Durch die konzentrierte
Beleuchtung, die zudem auch mit einer Blitzlampe gepulst sein kann, sind
20 Bildaufnahmen on-the-fly möglich, bei denen also der Tisch 20 oder die
Bildaufnahmeeinrichtung 22 ohne für die Bildaufnahme anzuhalten verfahren
werden. Dadurch ist ein großer Waferdurchsatz möglich. Natürlich kann auch
für jede Bildaufnahme die Relativbewegung zwischen Tisch 20 und
Bildaufnahmeeinrichtung 22 angehalten werden und der Wafer 16 auch in
25 seiner gesamten Oberfläche 17 beleuchtet werden. Der Tisch 20,
Bildaufnahmeeinrichtung 22 und Beleuchtungseinrichtung 23 werden vom
Computer 15 gesteuert. Die Bildaufnahmen können durch den Computer 15 in
einem Speicher 15a abgespeichert und gegebenenfalls auch von dort wieder
aufgerufen werden.

30 Fig. 2b zeigt die Draufsicht auf einen Wafer 16, der auf einen Tisch 20
aufgelegt ist. Der Wafer 16 besitzt einen Mittelpunkt 25. Auf dem Wafer 16

werden Schichten aufgetragen, die dann in einem weiteren Arbeitsgang strukturiert werden. Ein strukturierter Wafer umfasst eine Vielzahl von strukturierten Elementen.

Fig. 3 zeigt eine Ausführungsform eines Userinterfaces 30 für die
5 Parametereingabe zum Festlegen eines Empfindlichkeitsprofils 31 für die
Farbschwankungen auf der Oberfläche 17 eines Wafers 16. Auf dem
Userinterface 30 ist die Farbschwankung als eine Funktion 32 des Radius des
Wafers 16 aufgetragen. Die Abweichungen werden bewertet und die
Schwankungen der Funktion 32 ist ein Maß für die Änderung der Farbe der
10 Oberfläche 17 des Wafers 16 vom Mittelpunkt 25 des Wafers 16 aus gesehen.
Die Funktion 32 bzw. Kurve ergibt sich aus dem Minimum aller auf einem
Abstand zum Mittelpunkt 25 bzw. aller auf einem Radius liegenden
Messwerte. Zur Anpassung eines Empfindlichkeitsprofils 31 an die Funktion
32 stehen dem Benutzer mehrere verschiedene Profilformen 31a, 31b und
15 31c zur Verfügung, um somit ein erlerntes Empfindlichkeitsprofil 31 zu
bestimmen und festzulegen. Das so bestimmte Empfindlichkeitsprofil 31 wird
für Bestimmung und Kennzeichnung der Fehler auf anderen Wafers eines
Loses verwendet. In der Produktion bzw. in der Anwendung des eingelernten
Empfindlichkeitsprofil 21 wird dieses mit den Messwerten der verschiedenen
20 Wafer eines Loses verglichen. Ein Fehler wird dann charakterisiert, wenn ein
Messwert das erlernte Empfindlichkeitsprofil 31 unterschreitet. Das in Fig. 3
dargestellte Userinterface 30 wird auf dem Display 15 dargestellt und der
Benutzer kann über die Tastatur 14 die erforderlichen Eingaben machen.
Nachdem der Benutzer eine erste, eine zweite oder eine dritte Profilform 31a,
25 31b oder 31c ausgewählt hat, kann er diese im visuellen Vergleich zu der
Funktion 32 ändern. Die Veränderung eines radial abhängigen
Empfindlichkeitsprofils 31 unter Berücksichtigung der radialen Funktion 32 des
Referenzwafers erfolgt derart, dass mindestens ein Parameter der
ausgewählten Profilform variiert wird, wodurch ein erlerntes
30 Empfindlichkeitsprofil visuell bestimmt wird. Der Benutzer kann also auf dem
Display visuell abschätzen, ob er mit der Anpassung des
Empfindlichkeitsprofils 31 an die jeweils aktuelle Funktion zufrieden ist. Auf

dem Userinterface 30 werden dem Benutzer Positionierelemente 33 dargestellt. Die Darstellung der Positionierelemente 33 ist unter der graphischen Darstellung der Empfindlichkeitsprofis 31 und der Funktion 32 angebracht. Die Lage der Positionierelemente 33 kann z.B. über eine Maus
5 (nicht dargestellt) verändert werden. Die zweite und die dritte Profilform 31b und 31c besitzen können mindestens einen Abschnitt aufweisen, der eine andere Steigung besitzt als der Rest der Profilform. In der in Fig. 3 dargestellten Ausführungsform sind zwei Abschnitte in der Profilform 31 vorgesehen, die sich in ihrer Steigung unterscheiden. Der Übergang von
10 einem Abschnitt zum anderen wird in Fig. 3 durch eines der Positionierelemente 33 festgelegt. Auf dem Display 30 werden dem Benutzer ein Einstellelement 35 für die Glättung des Empfindlichkeitsprofis 31 bereitgestellt. Hinzu kommt, dass weitere Einstellelemente 36 für die Empfindlichkeit des Empfindlichkeitsprofis 31 dem Benutzer dargeboten
15 werden. Mit der Vielzahl an Einstellelementen 33, 35 und 36 kann der Benutzer das Empfindlichkeitsprofis 31 an die Funktion 32 angleichen und die erfolgten Änderungen auf dem Display 13 zu beobachten und hinsichtlich ihrer Relevanz abschätzen. Das Userinterface 30 stellt den Benutzer ebenfalls noch eine Auswahlfeld zur 37 Verfügung, mit dem er Empfindlichkeitsprofile von weiteren Referenzwafern zu den bestehenden eingelernten
20 Empfindlichkeitsprofilen hinzufügen will. Ferner hat der Benutzer die Möglichkeit einen neuen Wafer als Referenzwafer zu verwenden und für diesen ein neues eingelerntes Empfindlichkeitsprofil zu erstellen. In einem Eingabefeld 38 erhält der Benutzer die Information über die allgemeinen Einstellungen hinsichtlich der Farbänderungen bei einem Wafer. Die
25 Einstellungen umfassen die Farbverschiebung und die Abweichung von einem Histogramm. In einem Auswahlfeld 39 wird dem Benutzer angezeigt welche Datenauswahl getroffen oder eingestellt worden ist. In dem in Fig. 3 dargestellten Ausführungsbeispiel ist die Farbverschiebung ausgewählt. Mit
30 einem OK-Button 34 bestätigt der Benutzer seine Eingaben bzw. Einstellungen.

Fig. 4 zeigt eine Ausführungsform eines Userinterfaces für die

5 Parametereingabe zum Festlegen eines eingelesenen Empfindlichkeitsprofils, wobei als Funktion 40 die radiale Abweichung der Daten vom Histogramm dargestellt sind. Die Darstellung des Userinterfaces aus Fig. 4 ist mit der Darstellung aus Fig. 3 vergleichbar. Es wurden gleiche Bezugszeichen für
10 gleiche Komponenten verwendet. Für die Anpassung eines Empfindlichkeitsprofils 41 an die radiale Funktion 40 ist eine Profilform 31 ausgewählt, die drei Abschnitte aufweist, die in der Steigung und/oder dem Niveau unterscheiden. Display visuell abschätzen, ob er mit der Anpassung des Empfindlichkeitsprofils 31 an die jeweils aktuelle Funktion zufrieden ist.
15 Die auf dem Userinterface 30 dargestellten Positionierelemente 33 können vom Benutzer derart verschoben werden, dass sie die Lage der der Übergänge zwischen den einzelnen Abschnitten markieren. Die Darstellung der Positionierelemente 33 ist unter der graphischen Darstellung der Empfindlichkeitsprofis 41 und der Funktion 40 angebracht. Hinzu kommt, dass
20 weitere Einstellelemente 36 für die Empfindlichkeit des Empfindlichkeitsprofis 31 dem Benutzer dargeboten werden. Mit der Vielzahl an Einstellelementen 33, 35 und 36 kann der Benutzer das Empfindlichkeitsprofis 31 an die Funktion 32 angleichen und die erfolgten Änderungen auf dem Display 13 zu beobachten und hinsichtlich ihrer Relevanz abschätzen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bewertung von aufgenommenen Bildern von Wafern gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

5

- Aufnehmen des Bildes mindestens eines Referenzwafers,
- Ermitteln und Darstellen der radialen Verteilung der Messwerte des Referenzwafers als eine radiale Homogenitätsfunktion auf einem Userinterface, und
- Verändern eines radial abhängigen Empfindlichkeitsprofils unter Berücksichtigung der radialen Homogenitätsfunktion des Referenzwafers, wobei mindestens ein Parameter des Empfindlichkeitsprofils variiert wird, wodurch ein erlerntes Empfindlichkeitsprofil visuell aus dem Vergleich mit der radialen Homogenitätsfunktion bestimmt wird.

10

15

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Ermitteln von Fehlern auf mindestens einem weiteren Wafer an Hand des Vergleichs des erlernten radialen Empfindlichkeitsprofils des mindestens einen Referenzwafers mit der gemessenen radialen Verteilung der Homogenitätsfunktion des mindestens einen weiteren Wafers erfolgt, wobei ein Fehler aus dem Vergleich der gemessenen radialen Verteilung der Homogenitätsfunktion und des erlernten Empfindlichkeitsprofils bestimmt ist.

20

5

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Fehler durch das Unterschreiten des erlernten Empfindlichkeitsprofils durch die gemessene radialen Verteilung der Homogenitätsfunktion bestimmt ist und als solcher auf einer bildlichen Darstellung des mindestens einen weiteren Wafers markiert wird.

10

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das erlernte Empfindlichkeitsprofil vom Abstand zum Mittelpunkt des Wafers abhängig ist.
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das mehrere verschiedene Profilformen zum Bestimmen des erlernten Empfindlichkeitsprofil vom Benutzer ausgewählt werden können.

15

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass drei verschiedene Profilformen zum Bestimmen des erlernten Empfindlichkeitsprofil vom Benutzer ausgewählt werden können.

20

7. Verfahrenen nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass eine erste Profilform unabhängig von der radialen Position auf dem Wafer ist.
8. Verfahrenen nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass eine zweite Profilform einen ersten und einen zweiten Abschnitt aufweist, von denen mindestens einer in der Steigung verändert werden kann.

25

9. Verfahrenen nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass eine dritte Profilform vorgesehen ist, die einen ersten, einen zweiten und einen dritten Abschnitt aufweist, von denen mindestens einer in der Steigung verändert werden kann.

10. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Parameter veränderbar ist, um das Empfindlichkeitsprofil an radiale Homogenitätsfunktion eines Wafers anzugleichen.
- 5 11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Parameter die radiale Position eines Übergangs zwischen zwei Abschnitten des Empfindlichkeitsprofils definiert, die sich in der Steigung unterscheiden.
- 10 12. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass ein Parameter ein Niveau des Empfindlichkeitsprofils definiert, wobei mindestens drei Niveaus des Empfindlichkeitsprofils einstellbar sind.
- 15 13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Einstellung des Niveaus durch jeweils einem Slider verändert werden können.
- 20 14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere eingelernte Empfindlichkeitsprofile kombiniert werden.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass ein eingelerntes Empfindlichkeitsprofil jederzeit gegen ein neu eingelerntes Empfindlichkeitsprofil ersetzbar ist.

Zusammenfassung

Es ist ein Verfahren zur Bewertung von aufgenommenen Bildern von Wafern offenbart. Dem Aufnehmen des Bildes mindestens eines Referenzwafers schließt sich das Ermitteln und Darstellen der radialen Verteilung der

- 5 Messwerte des Referenzwafers als eine radiale Homogenitätsfunktion auf einem Userinterface an. Eines radial abhängiges Empfindlichkeitsprofil wird unter Berücksichtigung der gemessenen radialen Homogenitätsfunktion des Referenzwafers verändert. Mindestens ein Parameter des
- 10 Empfindlichkeitsprofils wird variiert, wodurch ein erlerntes Empfindlichkeitsprofil visuell aus dem Vergleich mit der radialen Homogenitätsfunktion bestimmt wird.

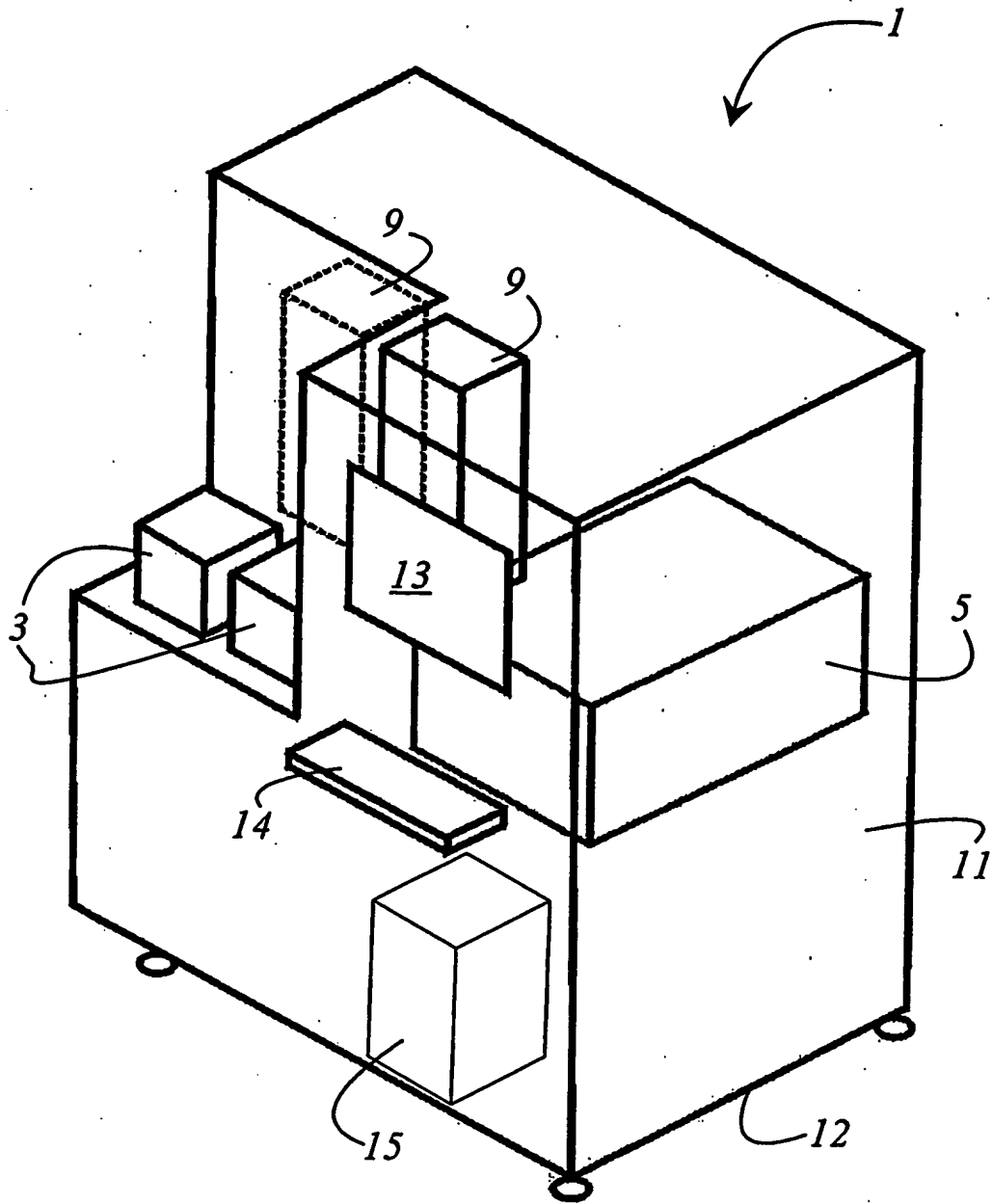


Fig. 1

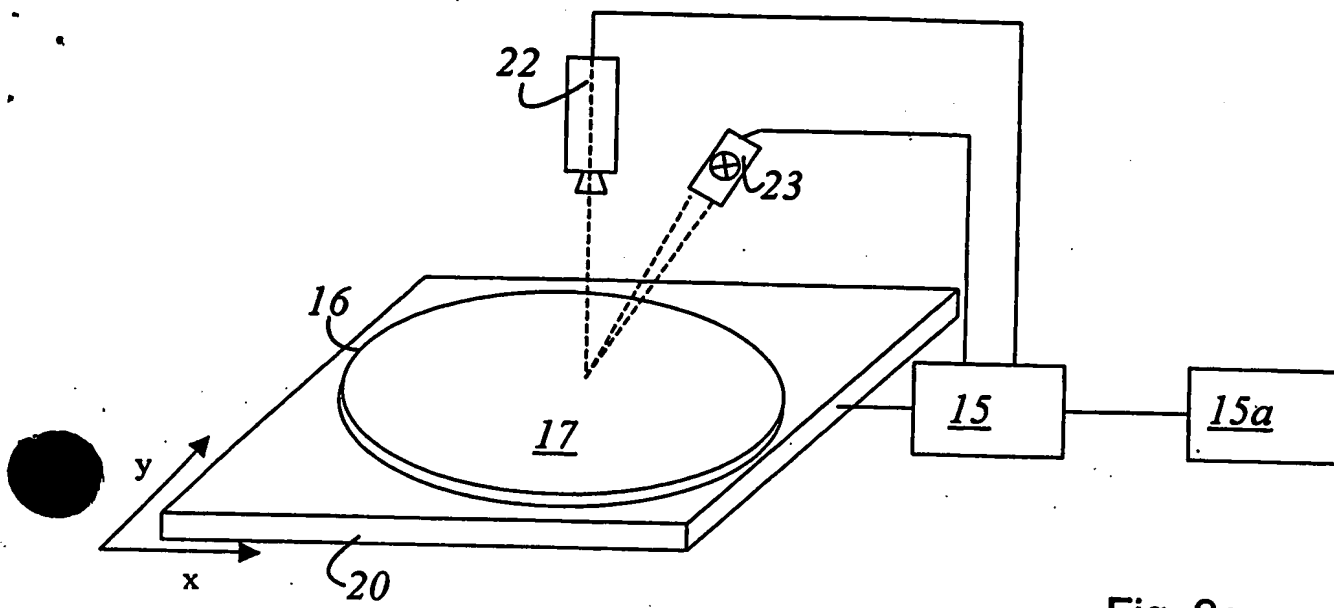


Fig. 2a

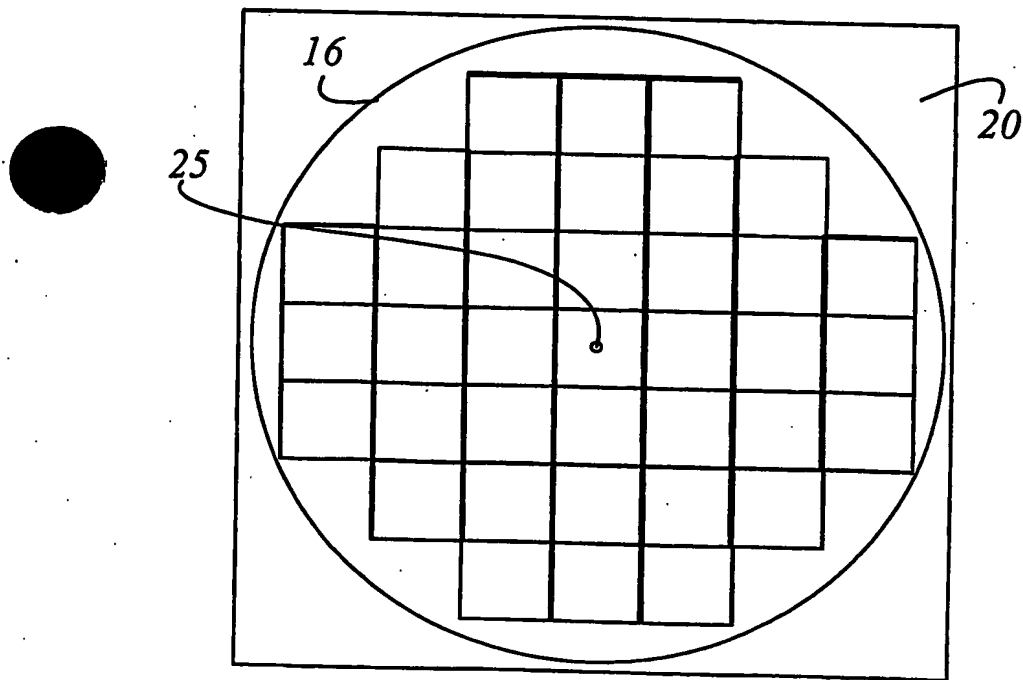


Fig. 2b

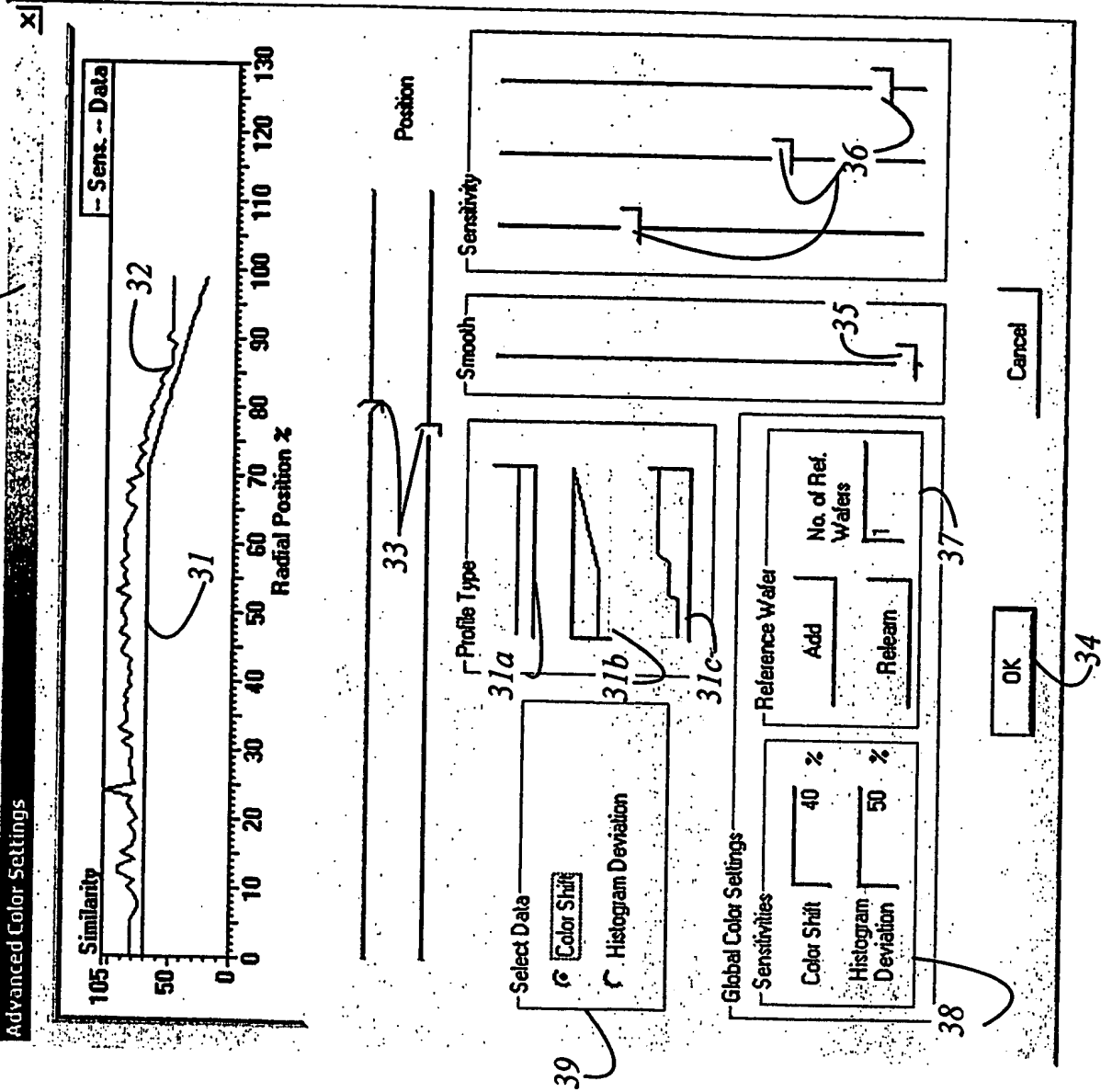


Fig. 3

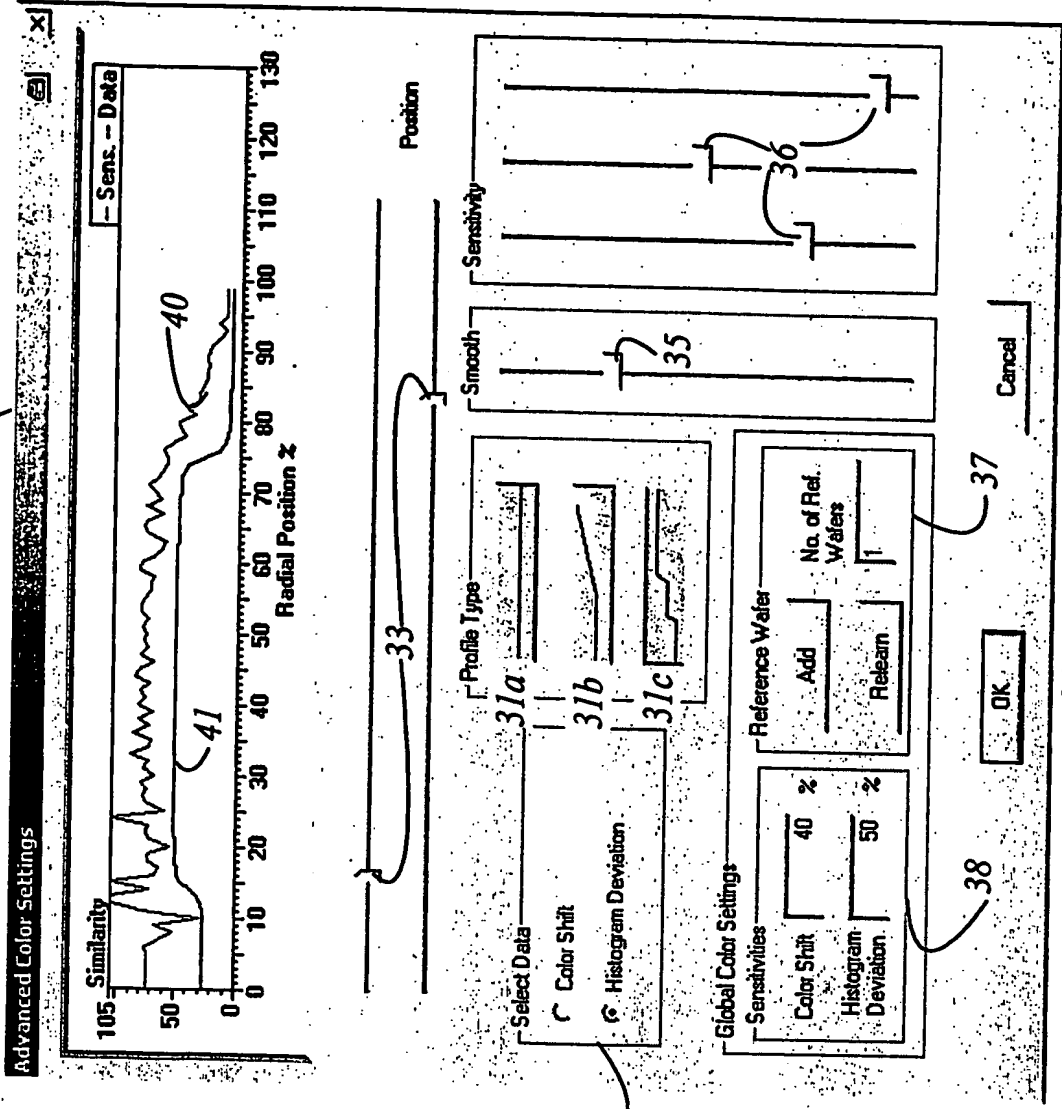


Fig. 4

34